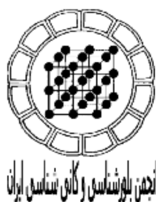
مجله
بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و سوم، شمارۀ چهارم، زمستان ۹۴، از صفحۀ ۶۹۹ تا ۷۰۸



بررسی خواص کانی‌شناسی و صنعتی ذخیره‌ی خاک‌رس معدن چاه‌شور ورزنه، جنوب‌شرق اصفهان

مهناز خدامی[1*]، افسانه کمالی شرودانی[2]

۱-گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه یزد
۲-گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد

(دریافت مقاله: ۹۳/۹/۲۳ ، نسخه نهایی: ۹۳/۱۲/۱۲)

چکیده: معدن خاک‌رس و فلدسپات چاه‌شور ورزنه در ۱۵۰ کیلومتری جنوب‌شرق اصفهان و در کمربند ماگمایی پهنه‌ی ایران مرکزی، ارومیه-دختر قرارگرفته است. بخش بیشتر سنگ‌شناسی منطقه عبارتند از آندزیت و توف‌های ائوسن و نهشته‌های کواترنری. فلدسپات پتاسیم، پلاژیوکلاز و شیشه آتشفشانی سازنده اصلی این سنگ‌ها هستند. این سنگ‌ها اغلب دگرسان شده و ذخیره خاک صنعتی تشکیل داده‌اند. ذخیره دارای فازهای اصلی کائولینیت، ایلیت، مسکویت، بقایای کوارتز، فلدسپات و نیز فازهای فرعی مونت‌موریلونیت، هماتیت و کلریت است. بررسی نمونه‌های صنعتی و ژئوشیمیایی ماده معدنی چاه‌شور نشان داد که خاک رس کائولینیتی این گستره دارای رنگ پخت کرمی تا قهوه‌ای است و دارای جذب آب، مقاومت خشک، مقاومت پخت و پرت گرمایی مناسب و مقادیری اکسیدهای اصلی در حد استاندارد صنعت کاشی و سرامیک است و برای استفاده در سایر صنایع نیاز به فرآوری دارند.

واژه‌های کلیدی: *خاک صنعتی؛ کائولین؛ سرامیک؛ چاه‌شور ورزنه؛ ارومیه دختر.*

مقدمه

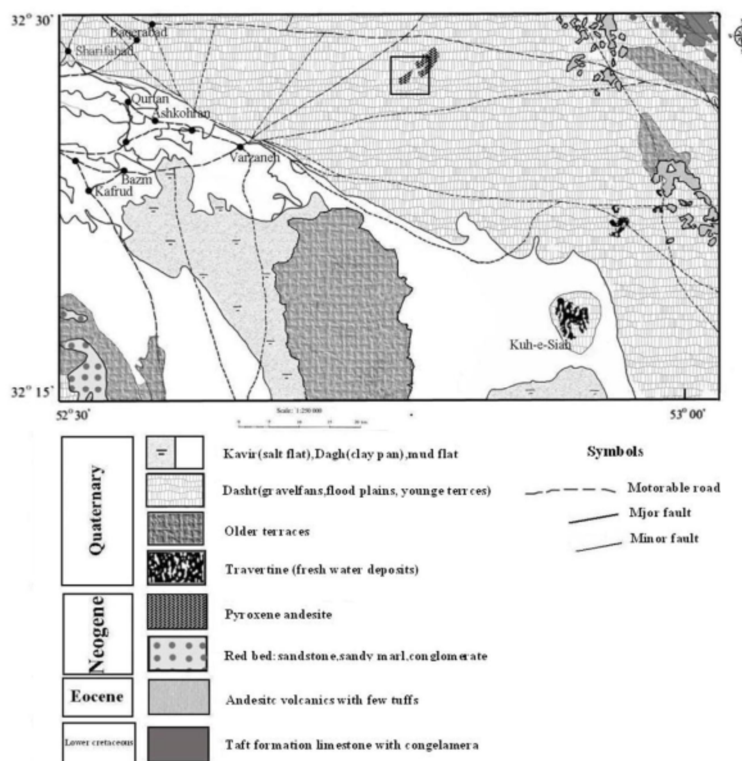
در گستره‌ی مورد بررسی در ۱۵۰ کیلومتری جنوب‌شرق اصفهان و نایین، سنگ‌های آتشفشانی برونزد، در اثر دگرسانی به‌شدت تجزیه شده‌اند. شدت دگرسانی در مناطقی که فعالیت‌های زمین ساختی شدیدتر بود، گسترده‌تر و ذخیره‌ی خاک صنعتی مناسبی را ایجاد کرده‌اند. اغلب خاک‌های صنعتی رسی هستند که در این منطقه نیز بچشم می‌خورند. خاک‌های رسی بیشتر از نوع کائولن هستند، کانی‌های اصلی کائولن بیشتر کائولینیت و در درجه بعدی دیکیت، ناکریت و هالویزیت است که به ذخایر هوازده، گرمابی، حمل شده و یا دیاژنزی تقسیم‌بندی می‌شوند. ذخایر گرمابی تحت تاثیر محلول‌های گرمابی اغلب اسیدی بروی سنگ‌های حاوی کانی‌های آلومینیوم‌دار مانند فلدسپات‌ها، فلدسپاتوئیدها، میکاها و حتی شیشه‌های آتشفشانی و بیشتر در پهنه‌های گسلی ایجاد می‌شوند. کائولینیت در پهنه‌های دگرسانی کانسارهای فلزی گرمابی نیز تشکیل می‌شود [۱] و می‌تواند راهنمای مفیدی برای پی جویی این کانسارها باشد [۳،۲]. طی دگرسانی همه‌ی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی سنگ می‌توانند به کانی‌های رسی، سرسیت، کوارتز و هماتیت دگرسان شوند [۴-۶]. رس‌های کائولینیتی با توجه به خواص کانی‌شناسی و فیزیکوشیمیایی در صنایع سرامیک، چینی، کاغذسازی، رنگ سازی، پلاستیک، لاستیک، چینی و لعاب، شیشه، صنایع آرایشی و بهداشتی، مصالح ساختمانی، صنعت نفت و دیرگدازها کاربرد دارند [۶-۸] که حدود ۲۷٪ مصرف جهانی آن در صنعت سرامیک است [۷، ۸]. از آنجا که کانی‌شناسی اصلی سنگ‌های منطقه مورد بررسی، فلدسپات است در اثر دگرسانی به طور نسبی اکسیدهای سدیم و پتاسیم خارج و سیلیس و اکسیدهای آلومینیوم برجا می‌مانند و به تدریج ایلیت، مونت موریلونیت

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۵۳۱۲۳۳۲۶۹، نمابر: ۰۳۵۳۸۲۱۰۶۴۴، پست الکترونیکی: khodami_m@yahoo.com

و کائولینیت تشکیل می‌شوند [۹،۸]. حمل عناصر شیمیایی در محیط طبیعی به‌میزان زیادی بستگی به خصوصیات شیمیایی آن‌ها و PH آب دارد [۱۰]. هوازدگی شیمیایی مانند کائولینیتی شدن سنگ‌ها معمولاً در محیط‌های اسیدی ضعیف و با افزایش سریع PH رخ می‌دهد [۱۲-۱۰]. قلیایی‌ها به سرعت از این محیط حرکت کرده و مراحل پایانی فرآیند کائولینیتی شدن در محیط اسیدی شکل می‌گیرد [۱۳،۱۲]. این تغییر از محیط با اسیدیته کم آغاز می‌شود سپس با تغییر شرایط به سمت محیط قلیایی شدید و با قابلیت حل کوارتز و در نهایت در شرایط اسیدی ادامه می‌یابد. که ناشی از تحرک این عناصر شیمیایی حین کائولینیتی شدن است [۱۳،۱۰،۹]. با افزایش درجه‌ی دگرسانی و تحرک نسبی عناصر در محیط در قسمت‌هایی از ذخیره خاک رس مناسبی ایجادشده و در برخی قسمت‌ها هنوز بقایای تجزیه نشده فلدسپات و سنگ میزبان به‌چشم می‌خورد. از این‌رو ذخیره‌ی چاه‌شور به‌عنوان فلدسپات و خاک رس معرفی می‌شود. خاک رس این منطقه از نظر کانی‌شناسی، خواص شیمیایی و فیزیکی و مقایسه با استانداردهای موردنظر صنعت سرامیک در این پژوهش مورد بررسی قرارگرفته است تا بهترین محل مصرف آن برای استفاده‌ی بهینه به صنعت‌گران معرفی شود.

زمین شناسی منطقه

گستره‌ی مورد بررسی بین طول‌های جغرافیایی″۵۹ '۵۴ °۵۲ تا″۱۸ '۰۰ °۵۳ شرقی و عرض‌های جغرافیایی″۳۴ '۲۳ °۳۲ تا ″۱۳ '۲۶ °۳۲ شمالی روی کمربند آتشفشانی ارومیه-دختر قراردارد. سنگ‌های آتشفشانی شامل گدازه‌های آندزیتی ائوسن همراه با سنگ‌های آذرآواری، توف قطعه سنگی، توف شیشه‌ای، ایگنمبریت و نیز نهشته‌های کواترنری، تشکیلات سنگ‌شناسی منطقه هستند [۱۴] (شکل ۱). فازهای سازنده‌ی اصلی آن‌ها فلدسپات و شیشه آتشفشانی هستند که در اثر دگرسانی آرژیلیک کانی‌های رسی و سریسیت تشکیل داده‌اند. پدیده‌ی دگرسانی در برخی نقاط ناقص بوده و کانسار حالت فلدسپاتی دارد. ولی با توجه به بررسی‌ها در عمق، عمل دگرسانی به‌صورت کامل‌تری صورت گرفته و مانند دیگر دگرسانی‌های آرژیلیک بر میزان ایلیت و کائولینیت افزوده شده است. همچنین فقدان سولفیدها و کمبود اکسیدهای آهن در گستره‌ی دگرسانی کیفیت مناسب‌تری از نظر کائولن‌زایی به ذخیره داده‌است. به‌طورکلی ماده معدنی به‌صورت فلدسپات پتاسیم و خاک صنعتی کائولن و مخلوط فلدسپات-کائولن است و رنگ ماده‌ی معدنی با توجه به نفوذ و وجود متغیر عناصر مختلف مانند اکسیدآهن به‌رنگ‌های متفاوت سفید، سفید خاکستری، زردلیمویی و سرخ است.



شکل ۱ موقعیت منطقه در نقشه‌ی زمین‌شناسی ایران [۱۵] و نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه ساده شده از نقشه‌ی ۱٫۲۵۰۰۰۰ نایین [۱۴].

روش بررسی

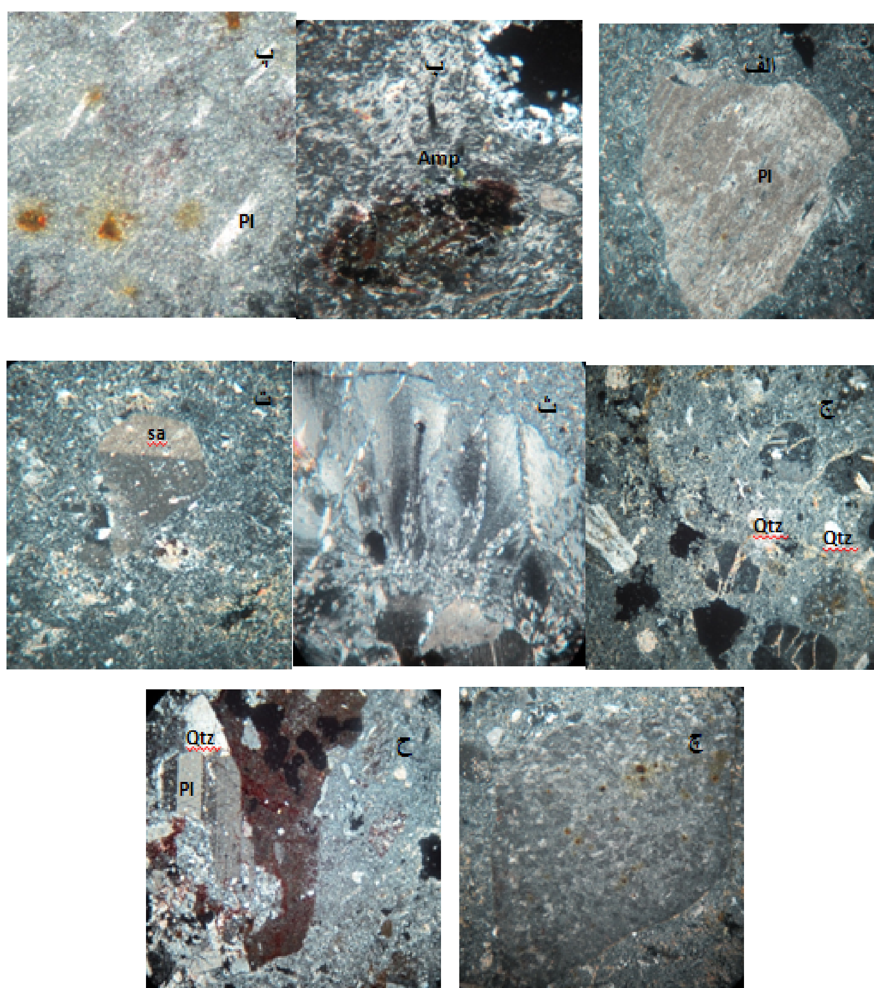
پس از بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، نمونه‌برداری از سنگ‌های منطقه، خاک‌های رسی و سنگ مادر آن‌ها با ثبت مختصات جغرافیایی انجام شد. از مقاطع‌نازک تهیه شده از نمونه‌ها بررسی‌های سنگ نگاری با میکروسکوپ الیمپوس و از کانی‌ها، بافت سنگ و آثار تجزیه عکس‌برداری انجام شد. برای شناسایی فازهای حاصل از دگرسانی و کانی‌هایی که با میکروسکوپ نوری قابل شناسایی نبودند، آنالیز XRD و نیز برای شناسایی ترکیب شیمیایی آنالیزXRF روی نمونه‌ها انجام گرفت. به منظور پی بردن به خواص تکنولوژیکی ذخیره خاک صنعتی منطقه و کاربرد آن در صنعت آزمایش‌های گوناگون فیزیکی و پخت روی نمونه‌ها انجام گرفت و نتایج به‌دست آمده با استانداردهای صنعتی مقایسه شدند. بدین منظور چند نمونه از خاک‌رس مورد بررسی که درصد کانی تیره ناچیز و درصد آهن، منیزیم و تیتانیوم پائینی داشتند انتخاب و پودر شدند سپس پودر نمونه‌ها به‌صورت قرص درآمده و آزمایش پخت روی آن‌ها در دمای ۱۲۰۰درجه سانتی‌گراد در کوره به مدت ۶۰ دقیقه انجام گرفت.

بحث و بررسی

سنگ نگاری

با توجه به بررسی‌های انجام شده، سنگ‌های آذرین در گستره-ی ذخیره که سنگ مادر خاک رس هستند شامل آندزیت و توف‌های وابسته به ائوسن هستند. آندزیت‌های ائوسن به شدت دگرسان شده و بافت پرفیری و جریانی در آن‌ها بچشم می‌خورد. این سنگ‌ها دارای پلاژیوکلاز به‌عنوان کانی اصلی هستند که در بیشتر مقاطع تجزیه شده‌اند (شکل۲ الف) [۱۶]، آمفیبول تنهاکانی تیره آن‌هاست که به‌ندرت در زمینه‌ی شیشه‌ی دگرسان شده دیده می‌شود (شکل۲ ب)، زمینه این سنگ‌ها از شیشه‌ی و بلورهای ریز پلاژیوکلاز با بافت دم چلچله‌ای تشکیل شده (شکل۲ پ) و سانیدین نیز به عنوان کانی فرعی در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود (شکل۲ ت)، بافت اسفرولیتی از تبلور شیشه زمینه نیز در برخی نمونه‌ها دیده می شود (شکل۲ ث). توف‌های منطقه به دو گروه توف شیشه‌ای و قطعه سنگی رده بندی می‌شوند (شکل۲ج، چ) که دارای بلورهای کوارتز خردشده، فلدسپات پتاسیم، پلاژیوکلاز و قطعات سنگی، آندزیتی، سیلیسی و تراکیتی هستند. کانی‌شناسی قطعات سازنده توف‌های قطعه سنگی بیشتر فلدسپات پتاسیم است که گاهی رگه‌های آهن‌دار نیز آن‌ها را قطع کرده‌اند (شکل۲ح) ترکیبات آهن‌دار حاصل از دگرسانی کانی‌های آهن منیزیم‌دار بیشتر در مناطق گسلی وارد نمونه‌های رسی شده‌اندکه باعث کاهش کیفیت خاک رسی حاصل از این سنگ‌ها در این مناطق شده‌اند. قطعات سنگی سازنده‌ی توف‌ها درجات متفاوتی از دگرسانی را تحمل کرده‌اند به‌طوری‌که قطعات حاوی فلدسپات و همچنین شیشه دستخوش دگرسانی شدیدتری شده‌اند و سهم بیشتری در تشکیل ذخیره خاک صنعتی داشته‌اند. با توجه به بررسی‌های کانی‌شناختی، توف‌های منطقه، خاستگاه اصلی ذخیره خاک رس هستند و کوارتز و فلدسپات به‌صورت باقیمانده رخداد دگرسانی، در آن‌ها به‌چشم می‌خورند، اما با پیشرفت دگرسانی خاک رسی مناسبی ایجاد شده که بقایای کانی‌های اصلی به‌ندرت در آن‌ها قابل مشاهده اند. از آن‌جا که نمونه‌های تجزیه شده و بسیاری از فازهای موجود در زمینه با بررسی سنگ نگاری قابل تشخیص نبودند، آنالیز پراش پرتو ایکسXRD روی نمونه‌های سنگی دگرسان و نمونه‌های خاکی انجام گرفت. نتایج این آنالیزها وجود فازهای کائولینیت، مونت موریلونیت، کوارتز، ارتوکلاز، آلبیت، ایلیت، کلریت و هماتیت را در نمونه‌ها نشان می‌دهد. فازهای اصلی و فرعی با توجه به میزان دگرسانی از سنگ مادر تا خاک‌رس در نمونه‌های مختلف متفاوت است (جدول ۱). در نمونه‌ی خاک‌رس روشن، فازهای اصلی کوارتز، کائولینیت و مونت موریلونیت و فازهای فرعی ارتوکلاز، آلبیت، مسکویت، ایلیت هستند که نشان دهنده‌ی یک دگرسانی آرژیلیک پیشرفته است. در نمونه‌هایی که دگرسانی به‌صورت کامل رخ نداده، فازهای تشکیل‌دهنده‌ی اصلی عبارت‌اند از کوارتز، ارتوکلاز، آلبیت، مسکویت، ایلیت، کائولینیت و مونت موریلونیت، و نیز هماتیت، کلریت و گاهی هالیت از فازهای فرعی هستند (جدول ۱). هماتیت در شرایط اکسایش، هوازدگی همراه با ایلیت و کوارتز در رگه‌ها به وجود می‌آید و در صورت تغییرات شرایط از اکسایش به احیا کلریت منجر می‌شود [۱۷]. با توجه به‌وجود نهشته‌های تبخیری در منطقه‌ی هالیت نیز می‌تواند در اثر نفوذ محلول‌ها از سنگ‌های اطراف شسته شده و وارد ذخیره شود. سیلیس حاصل از دگرسانی و نیز انحلال و تخریب کانی‌های سیلیکاتی باعث شد که کوارتز در تمام نمونه‌های آنالیز شده حضور داشته‌باشد، بقیه‌ی سیلیس در ساختار کائولینییت، مونتموریلونیت و ایلیت قرارگرفته‌است. کوارتز خاستگاه اصلی سیلیس موجود در این خاک است. حضور ایلیت بجای کائولینیت در برخی نمونه‌ها به‌عنوان فاز اصلی نشان می‌دهد که در این قسمت‌ها فرآیند دگرسانی در مراحل اولیه است [۵] و با پیشرفت دگرسانی به‌ترتیب مونتموریلونیت و کائولینیت فازهای اصلی نمونه‌های خاک رس را تشکیل می‌دهند [۸، ۹]. ایلیت می‌تواند به‌همراه بقایای فلدسپات پتاسیم خاستگاه اکسیدپتاسیم در این ذخیره باشد که ماده‌ای گدازآور در بدنه‌های سرامیکی است اما آهن موجود

در آن باعث رنگ مایل به سرخ در فرآورده‌های سرامیکی در دمای بالای ۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌شود که آهن به‌صورت هماتیت آزاد می‌شود [۸]. مونتموریلونیت نیز به‌خاطر وجود آهن در ساختارش همین تأثیر را می‌گذارد اما از طرفی باعث افزایش مقاومت خام و مومسانی می‌شود [۸]. کائولینیت با فرمول $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ یک سیلیکات صفحه‌ای است. ساختار صفحه‌ای و وجود لایه‌های آب‌دار در کانی‌های رسی باعث ایجاد خاصیت پلاستیسیته در آن‌ها شده و در دماهای بالا آب خود را از دست می‌دهند و به موادی نسوز تبدیل می‌شوند [۴،۲]. ترکیب شیمیایی رس‌ها به‌خاطر جانشینی گسترده‌ی سیلیسیم، آلومینیوم و منیزیم با دیگر کاتیون‌ها، سرشت و تعداد صفحات داخلی بلور و محتوای آب کانی تغییر می‌کند که باعث تفاوت‌هایی در سرشتی‌های فیزیکی رس‌ها می‌شود. کانی‌های رسی از نظر آبزدایی تجزیه و مقاومت گرمایی متفاوتند و در نتیجه کاربردهای آن‌ها در صنعت نیز با هم تفاوت دارد. کانی‌های رسی سازنده اصلی نهشته‌های رسوبی مانند شیل و گل‌سنگ هستند، ولی اغلب در اثر هوازدگی و دگرسانی و تغییرات شرایط فیزیکوشیمیایی مواد مادر، مانند فلدسپات‌ها، میکاها، شیشه‌های آتشفشانی، و برخی کانی‌های آهن منیزیم‌دار به وجود می‌آیند[۲].



شکل۲ تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های منطقه‌ی چاه‌شور ورزنه XPL :الف) پلاژیوکلازتجزیه شده به سریسیت در آندزیت، پهنای میدان دید ۱٫۸۵میلی متر؛ ب) بقایای آمفیبول در زمینه‌ی شیشه دگرسان شده در آندزیت، پهنای میدان دید ۱٫۹۷ میلی متر؛ پ) زمینه‌ی تشکیل شده از شیشه و بلورهای ریز پلاژیوکلاز با بافت دم چلچله ای در آندزیت، پهنای میدان دید ۰٫۹۷ میلی متر؛ ت) سانیدین به‌عنوان کانی فرعی در آندزیت، پهنای میدان دید ۱٫۸۵ میلی متر؛ ث) بافت اسفرولیتی که از تبلور شیشه زمینه ایجاد شده است، پهنای میدان دید ۱٫۸۵ میلی متر؛ ج) بلورهای خرد شده کوارتز و فلدسپات در زمینه‌ی شیشه جریانی در توف، پهنای میدان دید ۴٫۵ میلی متر؛ چ) قطعه سنگی تراکیتی در توف قطعه سنگی، پهنای میدان دید ۴٫۵ میلی‌متر؛ ح) رگه‌های هماتیت و اکسیدآهن، پهنای میدان دید ۰٫۴۸ میلی متر. (کوارتز Qtz پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم Kfs، سانیدین Sa، آمفیبول Amp) (علایم اختصاری از [۱۶]).

جدول۱ نتایج آنالیزXRD از فازهای کانیایی در نمونه‌های خاک صنعتی و فلدسپات در منطقه‌ی چاه‌شور ورزنه Mi:Minor Ma:Major

Mineral / Sample	Quartz	Orthoclase	Albite	Muscovite	Montmorillonite	Illite	Kaolinite	Hematite	Halite	Chlorite
FA1	Ma	Ma	Mi							
FB2	Ma	Ma		Mi						
KA4	Ma		Mi	Ma		Ma				
KB2	Ma	Ma	Ma	Ma	Mi	Ma				Mi
KA1	Ma	Ma	Ma		Ma	Mi	Mi	Mi		
KA2	Ma	Mi	Mi		Ma	Mi	Ma		Mi	

ژئوشیمی

نتایج حاصل از آنالیزهایXRF نشان می‌دهند که مقدار میانگین SiO_2 در ذخیره‌ی معدنی ۷۰/۵۵٪ و مقدار میانگین Al_2O_3 نیز در نمونه‌ها ۱۶/۱۶٪ است. همچنین مقدار میانگین TiO_2 در معدن چاه‌شور ورزنه ۰/۲۲٪ و میانگین اکسیدهای قلیایی K_2O و Na_2O به‌ترتیب ۴/۴۹٪ و ۱/۵۰۷٪، مقدارCaO ۱/۲۳٪ و میانگین اکسید آهن در این نمونه‌ها ۲/۰۰۲٪ هستند (جدول ۲).

نتایج آنالیزهای شیمیایی در خاک صنعتی معدن چاه‌شور به‌منظور بررسی کاربرد آن در صنعت با استانداردهای صنعتی مورد استفاده در صنایع سرامیک مقایسه شدند. بر اساس استانداردها، میزان SiO_2 باید در حدود۶۶/۸۱٪ باشد. این مقادیر در نمونه‌های چاه‌شور ورزنه در حدود ۶۳/۳۹-۷۴/۹۳٪ است (جدول ۲) که در برخی نمونه‌ها بالاتر از مقادیر استاندارد است [۱۸،۱۹] لذا با عملیات فرآوری بایستی درصد این اکسید را در نمونه‌ها کاهش داد تا بتوان از تمامی حجم ذخیره در صنعت مورد نظر استفاده‌کرد. افزایش SiO_2 موجب افزایش زبری محصولات سرامیکی، دیرگدازی، مقاومت خشک و تغییر شکل هنگام پخت، کاهش مومسانی، MOR مدول گسیختگی و انقباض پخت محصول می‌شود. از سوی دیگر افزایش Al_2O_3 میزان MOR، مقاومت فیزیکی و شیمیایی محصول سرامیکی را در برابر تنش‌های گرمایی، فشارشی وکششی افزایش می‌دهد [۹،۲۰] مقدار بالاتر این اکسید در نمونه‌ی KA2 کیفیت بهتر این نمونه را نشان می‌دهد به دلیل شستشوی بالاتر در گستره-ی این نمونه، سیلیس به‌خاطر تحرک نسبی بیشتر شسته شده و اکسید آلومینیوم برجا مانده‌است لذا با کاهش سیلیس مقدار اکسید آلومینیوم در نمونه‌هایی که دستخوش دگرسانی شدیدتری شده‌اند افزایش می‌یابد. افزایش میزان Na_2O باعث کاهش چسبندگی، افزایش گرانروی و تغییر شکل در فراورده‌های سرامیکی می‌شود. از سوی دیگر اکسید پتاسیم K_2O گدازآور بوده و از مواد مفید برای بدنه‌های سرامیکی است [۷،۹،۲۰]. این دو اکسید قلیایی از ساختار فلدسپات‌های قلیایی آزاد می‌شوند که با توجه به‌وجود آلبیت و ارتوز در نتایج آنالیزهایXRD و نیز مشاهدات سنگ نگاری، وجود درصد قابل توجهی از عناصر قلیایی در نمونه‌ها قابل پیش‌بینی است. فلدسپات پتاسیم و ایلیت از کانی‌های پتاسیم‌داری هستند که در نمونه‌ها وجود دارند و در تأمین میزان پتاسیم ذخیره، نقش داشته‌اند. مقادیر مناسب اکسیدهای قلیایی سدیم و پتاسیم به‌ویژه اکسید پتاسیم موجب می‌شود عمل کلوخه شدن به‌خوبی صورت گیرد و جذب آب تولید شده به حداقل برسد [۸، ۹]. اکسیدهای آهن باعث ایجاد رنگ سرخ تا قهوه‌ای، استحکام خمشی پایین و کاهش نقطه ذوب شده و اکسید تیتانیم باعث تغییر حجم و ایجاد ترک در فرآورده‌های سرامیکی می‌شود [۷، ۸]، حضور کلریت و هماتیت در برخی نمونه‌ها از این جهت زیان‌آور است، ولی بیشتر نمونه‌ها میزان ناچیزی کانی تیره دارندکه باعث بهبود کیفیت ذخیره به‌منظور استفاده در صنعت می‌شود. مقایسه‌ی اکسیدهای سازنده‌ی نمونه‌ها در چاه‌شور ورزنه با استانداردهای صنعتی (جدول ۳) نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌های منطقه از نظر مقادیر مورد نظر این صنعت ازجمله Al_2O_3، SiO_2، CaO، K_2O با استانداردهای صنعت سرامیک همخوانی دارند (شکل ۳).

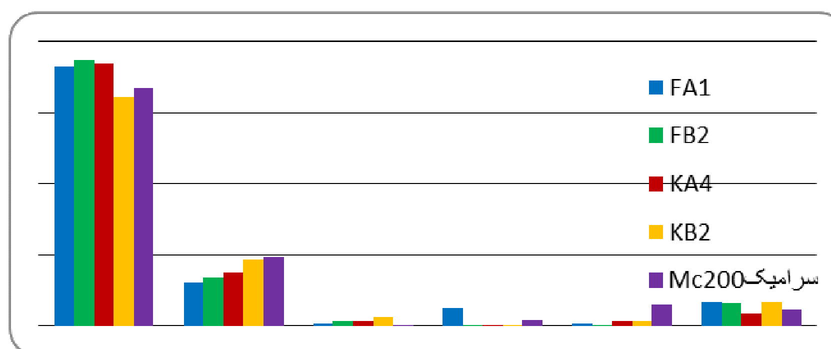
جدول۲ نتایج حاصل از آنالیز XRF خاک صنعتی چاهشور ورزنه.

	FA1	FB2	KA4	KB2	KA1	KA2	BK300
SiO_2	۷۲٫۹۶	۷۴٫۹۳	۷۳٫۷۷	۶۴٫۶۴	۷۳٫۰۴	۶۳٫۳۹	۷۰٫۱۱
Al_2O_3	۱۲٫۱۵	۱۳٫۷۲	۱۵٫۲۲	۱۸٫۸۴	۱۵٫۳۴	۲۲٫۸۶	۱۵٫۰۲
$Fe_2O_3^*$	۰٫۶۲	۱٫۵	۱٫۴۴	۲٫۵۴	۱٫۸۳	۱٫۸۸	۴٫۲۱
TiO_2	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۹	۰٫۲۵	۰٫۲۷	۰٫۵۵	_
MgO	۰٫۰۱	۰٫۱۴	۰٫۳۶	۰٫۸۵	۰٫۳۰	۰٫۶۵	۱٫۵۴
CaO	۵٫۵۴	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۱۳	۰٫۲۰	۰٫۰۹	۱٫۳۴
Na_2O	۰٫۷۳	۰٫۲۰	۱٫۳۶	۱٫۲۸	۳٫۷۸	۱٫۳۵	۱٫۸۵
K_2O	۶٫۲۷	۶٫۴۰	۳٫۵۰	۶٫۸۵	۲٫۹۹	۳٫۲۴	۱٫۶۳
MnO	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۱۵	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	_
P_2O_5	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۵	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۶	_
SO_3	۰٫۰۰۵	۰٫۲۶	۰٫۸۸	۰٫۲۱	-	-	_
S	-	-	-	-	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	_
LOI	۰٫۷۰	۱٫۵۱	۲٫۴۴	۰٫۷۰	۱٫۹۴	۴٫۷۱	۴٫۰۱

LOI: Loss on Ignition

جدول ۳ مقادیر استاندارد عناصر در صنایع سرامیک [۱۸، ۱۹]

عناصر	درصد
SiO_2	۶۶٫۸۸
Al_2O_3	۱۹٫۳۴
Fe_2O_3	۰٫۰۹
CaO	۱٫۸۲
MgO	۰٫۰۶
K_2O	۴٫۶۱
Na_2O	۶٫۱۲
LOI	۰٫۲۹



شکل ۳ مقایسه اکسیدها در نمونه با استاندارد Mc200 صنعت سرامیک.

خواص فناوری

مهم‌ترین خواص فناوری یا تست‌های صنعتی و پخت مورد استفاده برای تشخیص کاربرد خاک‌های صنعتی در صنعت سرامیک عبارتند از: رنگ پخت، پلاستیسیته، جذب آب، استحکام خام، استحکام پخت، پرت گرمایی، شرینگ کیج، انقباض پخت که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

رنگ پخت

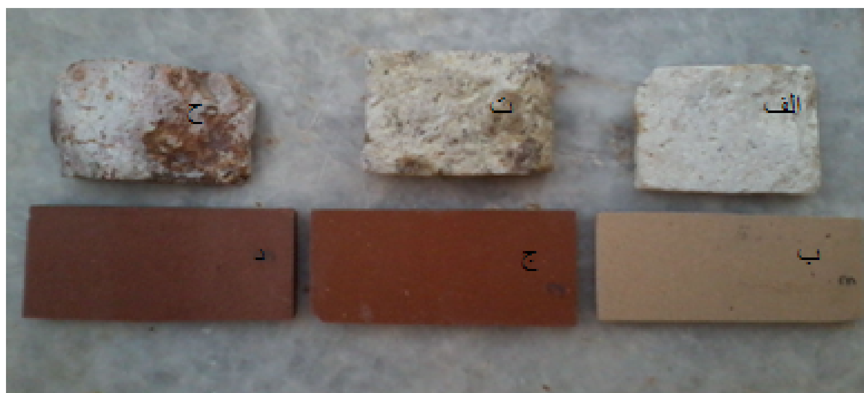
رنگ پس از پخت ماده‌ی اولیه در صنعت سرامیک اهمیت بسیار زیادی دارد. مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر رنگ پخت سرامیک، ترکیب شیمیایی ماده معدنی و ناخالصی‌های همراه آن هستند. اکسیدهای آهن، تیتان و منگنز و وجود یا عدم وجود مواد آلی مهم‌ترین عامل موثر روی رنگ پخت نمونه‌ها است. اکسیدهای آهن موجب رنگ سرخ تا قهوه‌ای، اکسید تیتانیوم موجب رنگ سیاه و اکسید منگنز و موادآلی به ترتیب باعث ایجاد رنگ صورتی و خاکستری در سرامیک‌ها می‌شوند [۲۱-۲۳]. آزمون پخت روی نمونه‌های KA1، KA2 و BK300 انجام شد (شکل ۴، جدول ۴). نمونه‌ی KA1 رنگ روشن‌تر و نمونه‌ی BK300 رنگ تیره‌تری نسبت به بقیه نمونه‌ها دارند. این بیشتر به‌دلیل درصد آهن نمونه‌هاست که مقدار آن در نمونه‌ی KA1 کمتر و در نمونه‌ی BK300 بیشتر از بقیه نمونه هاست. نمونه‌ی KA1 دارای روشن‌ترین رنگ (کرمی) است که کیفیت خوب و قابل استفاده بودن آن را در صنایع سرامیک نسبت به بقیه نمونه‌ها نشان می‌دهد.

جذب آب

مقادیر جذب آب در بدنه‌های کاشی پرسلانی لعاب‌دار باید کمتر از ۰/۵٪ باشد. برای رسیدن به مقادیر کمتر جذب آب یا باید درصد فلدسپات‌ها را در فرمول بندی بدنه کاشی پرسلانی افزایش داد، یا از فلدسپات‌های مرغوب‌تر (با درصد بالاتر اکسیدهای قلیایی K_2O، Na_2O) استفاده کرد و یا دمای پخت را افزایش داد. در صورتی که مقادیر MgO و CaO زیاد نباشد، بهتر است مقادیر Na_2O و K_2O به ترتیب ۴/۵ و ۱/۷٪ (با نسبت Na_2O به K_2O برابر با ۲/۶۵) باشند [۲۳،۲۲،۷]. درصد جذب آب با درصد بالای قلیایی‌ها، کاهش و با افزایش درصد کوارتز (SiO_2) افزایش می‌یابد. میزان جذب آب در نمونه‌ها برای کاربردهای مختلف می‌تواند متفاوت باشد. مثلاً در برخی کاشی‌های استفاده شده در دیواره‌ی جذب آب بالای ۱۲٪ نیز قابل قبول است، ولی در کاشی‌های کف بایستی جذب آب زیر ۶٪ باشد. همچنین بالا بودن اکسید کلسیم و وجود کربنات کلسیم باعث افزایش تخلخل و افزایش جذب آب می‌شود [۲۲، ۲۳]. نمونه‌های مورد بررسی دارای میانگین جذب آب مناسبی برای استفاده در صنعت هستند (جدول ۵).

جدول ۴ میزان اکسیدهای آهن و تیتان و اکسید منگنز در نمونه های KA1 ، KA2 و BK300 چاه‌شور ورزنه و تأثیر آن بر رنگ پخت.

نمونه	$Fe_2O_3^*$	TiO_2	MnO	رنگ پخت
KA1	۱/۸۳	۰/۲۷	۰/۰۰۲	کرم
KA2	۱/۸۸	۰/۵۳	۰/۰۰۳	قهوه ای روشن
BK300	۴/۲۱	_	_	قهوه ای تیره



شکل۴ نمونه KA1. الف: قبل از آزمون پخت، ب: بعد از آزمون پخت؛ آزمایشی و نمونه KA2. ت: قبل از پخت، ازمایشی ج: بعد از پخت؛ آزمایشی و نمونه BK300 . ح: قبل از آزمون پخت، د: بعد از آزمون پخت.

جدول۵ نتایج آزمایش‌های فیزیکی نمونه‌های کائولن معدن چاه‌شور

نمونه	BK300	KA2	KA1
دانسیته	۱٫۵	۱٫۳۲	۱٫۴۷
چسبندگی	۲۶	۴۰	۳۴
مقاومت خشک	۳۴٫۷۱	۳۷٫۳۲	۳۷٫۵۱
شرینگ‌کیج یا انقباض رطوبتی	۴٫۳	۴٫۸۱	۶٫۶۸
مقاومت پخت	۱۶۰	۱۸۰	۲۰۰
درصد جذب آب	۶٫۱۵	۳٫۳۵	۳٫۶۳
رنگ پخت	قهوه‌ای تیره	قهوه‌ای روشن	کرم

مقاومت خشک و خام

مقاومت خشک به‌صورت استحکام مواد پس از شکل‌گیری و خشک شدن و پیش از پخت تعریف می‌شود. بالا بودن میزان سیلیس در مواد اولیه سبب افزایش مقاومت خشک در نمونه‌ها می‌شود. مقاومت خشک به عواملی مثل وجود ذرات کلوئیدی بستگی دارد و عوامل موثر پلاستیکی در مقاومت خشک نیز موثرند[۲۳]. مقاومت خام عبارت از مقاومت ذرات خاک در برابر فشار اعمال شده بر آن‌هاست. براساس استانداردهای تعریف شده در صنعت، مقاومت خام بالاتر از۶ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع است. اما در ساخت کاشی بدنه‌ی پرسلانی مقادیر بیشتر از ۵ و بیشتر از ۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع نیز به ترتیب برای مقاومت خام و خشک بدنه مورد قبول هستند [۲۳]. مقاومت خشک در نمونه‌های چاه‌شور ورزنه حدود ۳۶٫۵۱٪ میانگین و مقاومت خام ۶٫۴۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع اند (جدول ۵).

پلاستیکی شدن

خاصیتی که یک ماده را قادر می‌سازد تا در اثر یک نیروی خارجی بدون شکست و گسستگی تغییر شکل یافته و پس از حذف یا کاهش نیرو همچنان شکل خود را حفظ کند پلاستیکی شدن نامیده می‌شود و رابطه‌ی تنگاتنگی با مقدار مقاومت خشک، انقباض تر و آب دارد. هر چه پلاستیکی شدن بالاتر باشد مقاومت خام و خشک آن بیشتر خواهد شد. هرچه مقدار آب کمتر باشد انقباض، کمتر و احتمال پیدایش ترک و شکست در فرآورده خام نیز کمتر خواهد شد [۲۳،۹،۸]. با توجه به این موارد، نمونه‌های چاه‌شور ورزنه به‌دلیل بالابودن مقاومت خام و خشکی که دارند خاصیت پلاستیکی بالایی خواهند داشت، که احتمال پیدایش ترک و شکست را در فرآورده‌های خام کاهش می‌دهد.

مقاومت پخت

استاندارد مقاومت پخت بیشتر از ۲۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع تعریف شده است. اما در کاربردهای صنعتی، مقادیر بالای۳۵۰ تا حدود ۶۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع نیز استفاده می‌شوند. برای داشتن مقدار بالای استحکام پخت، باید مقدار مناسبی از کائولن (و فلدسپار برای تراکم بیشتر هنگام پخت) در بدنه استفاده شود. در بعضی موارد، این کائولن‌ها مقاومت خشکی تا ۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع دارند که نقش مهمی در افزایش سفیدی بدنه، مقاومت پخت، ثبات ابعادی و کنترل انقباض حین پخت ایفا می‌کند [۲۳،۲۲،۹]. میانگین مقاومت پخت در نمونه‌های چاه‌شور ورزنه حدود ۱۸۰ کیلوگرم برسانتی‌مترمربع است (جدول ۵) و برای داشتن استحکام پخت با مقادیر بالا باید مقدار مناسبی از کائولن در بدنه استفاده شود.

کارآیی گرمایی

درصد کارایی گرمایی بهتر است کمتر از ۴ (معمولاً ۳٫۵-۲٫۵) باشد. هرچقدر کارایی گرمایی ماده معدنی رسی بالاتر باشد و تا دمای۱۲۵۰درجه‌ی سانتی‌گراد برسد؛ پدیده انبساط (به‌جای انقباض در اثر پخت) رخ دهد، محتوای کائولینیت آن ماده اولیه بیشتر است به شرط آن که کربنات‌ها و سولفات‌هایی مانند کلسیت، گچ و انیدرید در آن وجود نداشته باشند. با توجه به وجود این ترکیبات همراه هالیت در سنگ‌های اطراف ذخیره، هنگام استخراج بایستی از اختلاط این ترکیبات با ماده‌ی معدنی جلوگیری کرد و در صورت وجود این مواد قبل از استفاده در صنعت عملیات جداسازی انجام گیرد. پایین بودن

میزان کارایی گرمایی به‌دلیل بالابودن میزان کوارتز و پایین بودن اکسید آلومینیوم و عدم وجود مواد آلی در نمونه‌هاست [۷]. کارایی گرمایی باعث تخلخل می‌شود و این تخلخل به‌ترتیب بر نفوذپذیری و جذب آب در فرآورده‌های سرامیکی ظریف تاثیر می‌گذارد [۲۱-۲۳]. میانگین کارایی گرمایی نمونه‌های چاه‌شور ۳/۰۷٪ است.

جمع شدگی یا انقباض رطوبتی

جمع شدگی یا انقباض رطوبتی، انقباض و کاهش حجم ذرات رسی آب‌دار پس از گرما دادن و پخت است. هرچقدر کاهش حجم بیشتر باشد درجه‌ی خلوص کانی‌های رسی بیشتر است و هرچقدر میزان انقباض بیشتر شود درصد خلل و فرج و در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد [۷]. میزان میانگین جمع شدگی در نمونه‌های چاه‌شور به‌طور میانگین ۵/۲۶۳٪ است (جدول ۵).

برداشت

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن به ویژه توف‌های قطعه سنگی و شیشه‌ای در منطقه چاه‌شور ورزنه در اثر دگرسانی ذخیره خاک رس مناسبی را ایجاد کرده‌اند. کانی‌شناسی اصلی سنگ مادر فلدسپات و کوارتز در زمینه‌ی شیشه است. کانی‌های فلدسپاتی تشکیل‌دهنده‌ی این سنگ‌ها و شیشه‌ی آتشفشانی زمینه‌ی تجزیه شدیدی را در دگرسانی آرژیلیک متحمل شده‌اند. ذخیره دارای فازهای اصلی کوارتز، کائولینیت، مونت‌موریلونیت، ارتوکلاز، ایلیت، آلبیت و فازهای فرعی کلریت و هماتیت می‌باشد. نمونه‌های با درصد دگرسانی شدیدتر میزان کائولینیت بیشتری دارند. بررسی‌های انجام شده روی ترکیب شیمیایی ماده‌ی معدنی کائولینیتی چاه‌شور نشان می‌دهد که این ذخیره دارای اکسید سیلیسیم نسبتاً بالا با میانگین ۷۰/۵۵٪و اکسید آلومینیوم پایین با میانگین ۱۶/۱۶٪ است. ترکیب شیمیایی خاک رس چاه‌شور در مقایسه با استانداردهای صنعت سرامیک همخوانی قابل قبولی دارد. همچنین فاقد مواد آلی و مقادیر پایین اکسیدهای منگنز ، آهن وتیتانیم است. رنگ پخت بیشتر نمونه‌ها کرمی تا آجری است. بالا بودن میزان سیلیس در نمونه‌های چاه‌شور باعث شده‌است که این نمونه‌ها دارای خاصیت جذب آب بیشتر و مقاومت خشک بالا بوده و فرآورده‌های سرامیکی آن‌ها زبری بالایی داشته باشند. واکنش گرمایی نمونه‌های چاه‌شور کمتر از ۴ و مناسب است. با توجه به بررسی‌های انجام شده، خاک رس کائولینیتی چاه‌شور ورزنه به‌دلیل بالا بودن مقاومت خام و خشک و در نتیجه خاصیت پلاستیکی شدن بالا که احتمال پیدایش ترک و شکست را در فرآورده‌های خام کاهش می‌دهد نیز مقاومت پخت، پرت گرمایی، میانگین جذب آب و انقباض رطوبتی مناسب برای استفاده در صنایع کاشی و سرامیک کف و بدنه مناسب بوده و برای استفاده در سایر صنایع دیگر نیاز به فرآوری دارد.

مراجع

[۱] کریم پور م.ح.، سعادت س.، *"زمین شناسی اقتصادی کاربردی"*، نشرمشهد، (۱۳۸۱).

[2] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., *"An introduction to the rock forming minerals"*, 2nd edition, Longman, London (1992).

[3] Grecco L.E., Marfill S.A., Maiza P.J., *"Mineralogy and geochemistry of hydrothermal kaolins from the Adelita mine, Patagonia, Argentina relation to other mineralization in the area"*, Clay Minerals 47 (2012) 131-146.

[4] Dill H.G., Bosse H.R., Henning K.H., Fricke A., Ahrendt H., *"Mineralogical and chemical variations in hypogene and supergene kaolin deposits in a mobile fold belt the Central Andes of northwestern Peru"*, Mineralium Deposita 32 (1997) 149-163.

[۵] معانی جو م.، مستقیمی م.، عبداللهی ریسه م.، صحرارو ن.، *"مطالعه‌ی ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی میزبان و کانی-شناسی دگرسانی آرژیلیک در کانسارمس پورفیری سرچشمه : بر اساس داده‌های جدید"*، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۱۳ (۱۳۹۲) ص ۲۷-۴۱.

[6] Beane R.E., Bodnar R.J., *"Hydrothermal fluids and hydrothermal alteration in porphyry copper deposits"*, in Pierce, F.W., and Bohm J.G., eds., porphyry copper deposits of the American Cordillera, Arizona Geological Society Digest 20 (1995) 82-93p.

[۷] قدیمیان ع.، *"زمین شناسی اقتصادی و ژئوشیمی معدن کائولن گرک باغی ساوه"*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاداسلامی واحد محلات (۱۳۹۱).

[۸] اعتمادی ب.، ظریف نیا م.، *"بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و کانی شناسی کائولن معدن غازانداغی تاکستان در تولید کاشی و انواع دیگر سرامیک های صنعتی"*، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شماره۳ (۱۳۹۰) ص ۳۷۰-۳۶۳.

[۹] ذبیحی ر.، ابراهیمی خ.، زرین‌کوب م.ح.، *"بررسی‌های کانی شناسی و ژئوشیمیایی نهشته‌ی کانی رس کائولینیتی شده‌ی شیخ آباد (جنوب غرب بیرجند) با نگرشی بر کاربردهای صنعتی آن"*، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۱(۱۳۹۰) ص ۱۰۳-۱۱۲.

[10] Nyakairu G.W.A., Koeberl C., Kurzweil H., *"The Buwambo kaolin deposit in central Uganda, mineralogical and chemical composition*", Geochemical journal 33 (2001) 245-256.

[11] Garbarino C., Masi U., Padalino G., Paloma M., Geochemical feautues of the kaolin deposits. QQ

[12] Pirajno F., *"Hydrothermal Processes and Mineral Systems",* Geological Survey of Western Australia, Springer, (2009).

[13] Pirajno F., *"Hydrothermal Mineral deposits",* springer Verlag (1992).

[۱۴] نبوی م.، عمیدی م.، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ نایین"*، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور (۱۹۷۲).

[15] Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahandi M.R., *"Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences, 21 (2003) 397–412.

[16] Kertz R., *"Symbols for rock forming minerals"*, American mineralogist, 68 (1983) 277-279.

[17] Psyrillos A., Manning D.A.C., Burley S. D., *"The nature and significance of illite associated with quartz-hematite hydrothermal veins in the St. Austell pluton, Cornwall, England"*, Clay minerals, 36 (2001) 585-597.

[18] The tables of standard amounts for ceramic industry, Roskill information, (on line), available from:http://www.ngdir.ir/minemineral/PMineMineral Detail.asp ?"PID=159 (accessed on May 2014).

[19] Roskill Consulting Group (1996) The Economics of Kaolin. 9th ed., Roskill Information Services, London.

[20] Benea M., Gorea M., *"Mineralogy and Technological properties of some kaolin types used in ceramic industry"*, (2004).

[۲۱] ابراهیمی خ.، میر انوری ا.، همام م.، *"کانی شناسی صنعتی کانسار کائولن یاسمینا (گناباد) بر آلتراسیون منطقه"*، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۹۰) ص ۳۹۲-۳۹۷.

[۲۲] گرجستانی س.، *"صنعت و سرامیک"*، انتشارات جاودان خرد، (۱۳۸۴).

[۲۳]رحیمی ا.، متین م.، *"تکنولوژی سرامیک‌های ظریف، شرکت صنایع خاک چینی ایران"*، (۱۳۶۸) ۵۷۴ صفحه.